



Mini-vindmøllers elproduktion

Lawaetz, Henrik

Publication date:
2009

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Lawaetz, H. (2009). *Mini-vindmøllers elproduktion*. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R No. 1680(DA)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Mini-vindmøllers elproduktion

Henrik Lawaetz

Risø-R-1680(DA)

Forfatter: Henrik Lawaetz
Titel: Mini-vindmøllers elproduktion
Afdeling: Vindenergi

Risø-R-1680(DA)
Februar 2009

Abstract:

Small (micro) wind turbines electricity production in Denmark are calculated based on estimates of wind speed, experience from the United Kingdom and power curves.

ISSN 0106-2840
ISBN 978-87-550-3734-2

Sider: 12
Tabeller: 1
Referencer: 10

Afdelingen for Informationsservice
Risø Nationallaboratoriet for
Bæredygtig Energi
Danmarks Tekniske Universitet
Postboks 49
4000 Roskilde
Danmark
Telefon 46774005
bibl@risoe.dk
Fax 46774013
www.risoe.dtu.dk

Indhold

Forord	4
1 Mini-vindmølle	5
2 Vindhastigheder i Danmark	5
3 Erfaringer fra England	7
4 Elproduktion	7
5 Effektkurver	8
6 Beregningseksempel	9
7 Vindens energiindhold	9
8 Sammenfatning	10
9 Referencer	10

Forord

Der foreligger ikke dokumenterede erfaringer med mini-vindmøller i Danmark. På baggrund af vurderinger af vindhastigheder i Danmark, erfaringer fra England og fabrikantoplyste effektkurver er typiske mini-vindmøllers årlige elproduktion overslagsmæssigt beregnet.

1 Mini-vindmølle

Ved en mini-vindmølle forstås her en vindmølle med en rotordiameter typisk under 2,5 m svarende til rotorareal på under 5 m². Sådanne møller ønskes normalt opstillet i tilknytning til beboelse og kaldes derfor ofte også for små husstandsmøller.

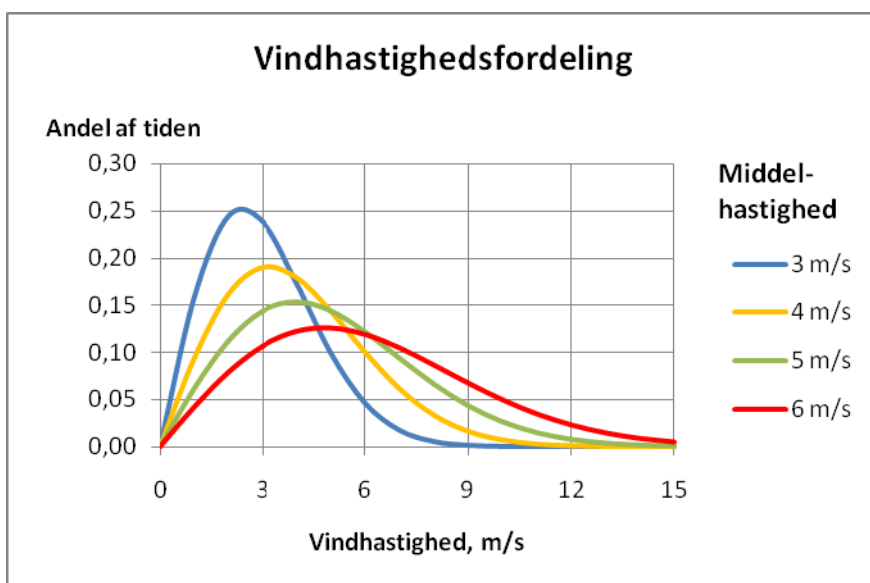
2 Vindhastigheder i Danmark

Den årlige fordeling af vindhastighederne i Danmark kan med tilnærmelse, /1/, antages at følge en Wiebull-fordeling:

$$f(u) = \frac{k}{A^k} u^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{u}{A}\right)^k\right)$$

hvor u er middelvindhastigheden i 10 minutter, A en skalaparameter og k en formparameter.

For årlige middelhastigheder på 3 til 6 m/s er fordelingerne med formparameteren k=2 optegnet på figur 1 gældende i 10 meters højde.



Figur 1

Vindens hastighed påvirkes lokalt af opragende genstande f.eks. bygninger og træer. For ikke at påvirke en vindmåling for meget af lokale luftstrømninger anbefales det, at vindmåleren placeres mindst 10 gange højden fra de høje genstande /2/. De målte vindhastigheder kan derfor forventes at være højere end vindhastighederne i umiddelbar nærhed af bebyggelser.

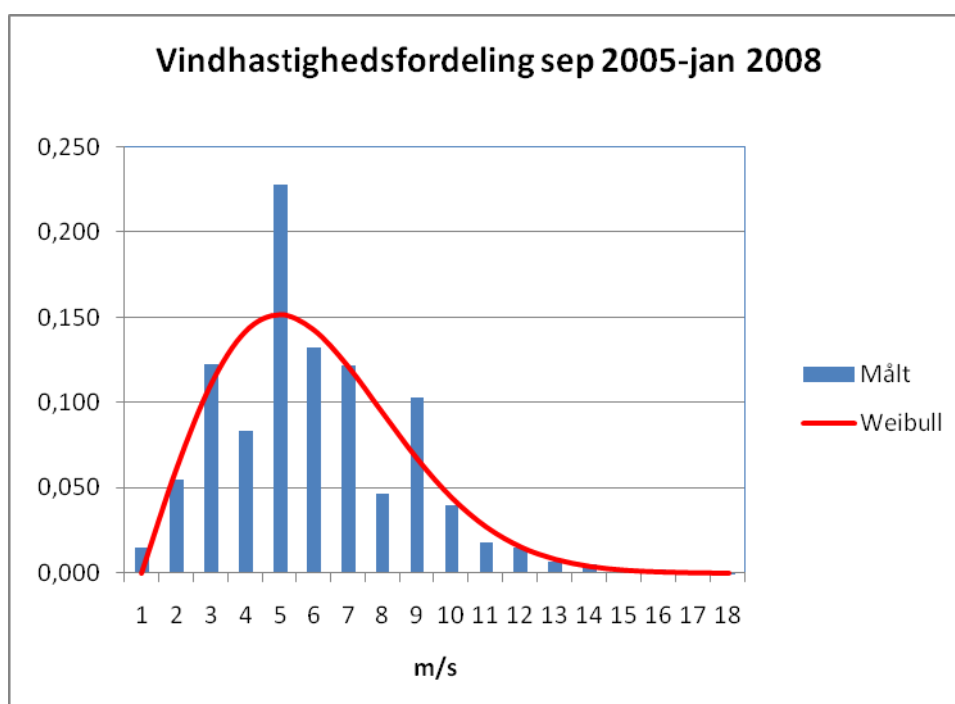
Meteorologiske Institut (DMI) måler vindhastigheden i 10 meters højde en række steder i landet. På baggrund heraf offentliggøres interpolerede middelværdier for en række byer /3/, jævnfør bilag 1 gældende for 2008. Det fremgår heraf, at der er

betydelig forskel på vindhastighederne i byer tæt ved især vestvendte kyster og i byer inde i landet.

Middelvindhastigheden i 10 meters højde i åbne landområder uden væsentlig beplantning og bebyggelse kan i Danmark forventes at være omkring 6 m/s, i landområder med spredt bebyggelse omkring 5 m/s, mens den i bymæssig bebyggelse eller landområder med mange hegn skønnes at være omkring 4 m/s.

I tættere bebyggede områder og i lavere højde vil vindhastighederne være lavere. Der kan derfor i mange tilfælde forventes middelvindhastigheder omkring 3 m/s ved mini-vindmøller opsat i bymæssig bebyggelse

Ud over DMI er der en række borgere, der løbende måler og offentliggør vejrdata. Eksempelvis er der for en vejrstation i Nordsjælland /4/ målt vindhastigheder siden efteråret 2005. Fordelingen af disse er optegnet på figur 2 sammen med en Weibull-fordeling med samme middelhastighed og formparameteren 2.

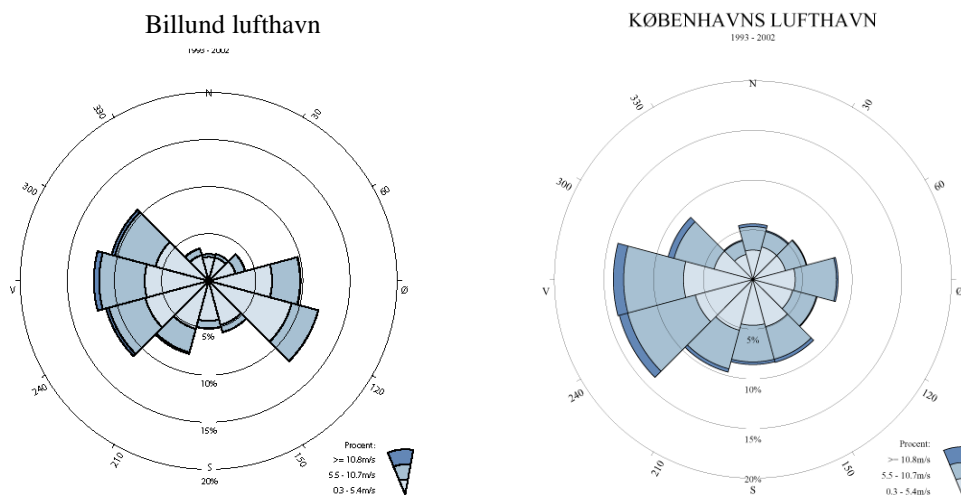


Figur 2

Det fremgår af figuren, at den målte fordeling afviger noget fra den beregnede. Dette kan måske forklares med særlige vindforhold på målestedet eller at fordelingen af vindhastighederne i måleperioden ikke har været repræsentative for den forventede fordeling over en længere periode (20 år), som beregningen er en tilnærmelse til.

En række relativt kortvarige målinger i England /5/ af vindhastighederne ved opsatte minimøller viser ikke bedre overensstemmelse mellem målt og beregnet fordeling. Der er dog typisk tale om, at der opnås den bedste overensstemmelse med en Weibull-fordeling med en formfaktor omkring 1,5.

I Danmark er den fremherskende vindretning vestlig. Det varierer dog lidt fra sted til sted, jævnfør figur 3, hvor fordelingen i en 10-års periode er vist for Billund og Kastrup, /6/.



Figur 3

3 Erfaringer fra England

I England var der ved udgangen af 2007 opsat mere end 5.000 vindmøller med en effekt på 0-1,5 kW, /7/.

For op mod 30 små møller opsat på eller ved lave og høje bygninger er der påbegyndt målinger af vindhastighed, elproduktion og -forbrug i op mod et år, /8/.

De foreløbige hovedkonklusioner er:

- de målte gennemsnitlige vindhastigheder er væsentlig lavere end forventet ud fra normale vindatlasberegninger, typisk 30-40 % lavere og i enkelte tilfælde op til 70 % lavere, og er i gennemsnit lidt under 3 m/s,
- de målte elproduktioner er 30-70 % lavere end beregnet ud fra målte vinddata og fabrikantoplyste effektkurver,
- vindmøllens og converterens elforbrug kan være af betydning. Elforbruget er i gennemsnit 20-25 kWh/år, men er for nogle mølle af samme størrelse som elproduktionen.

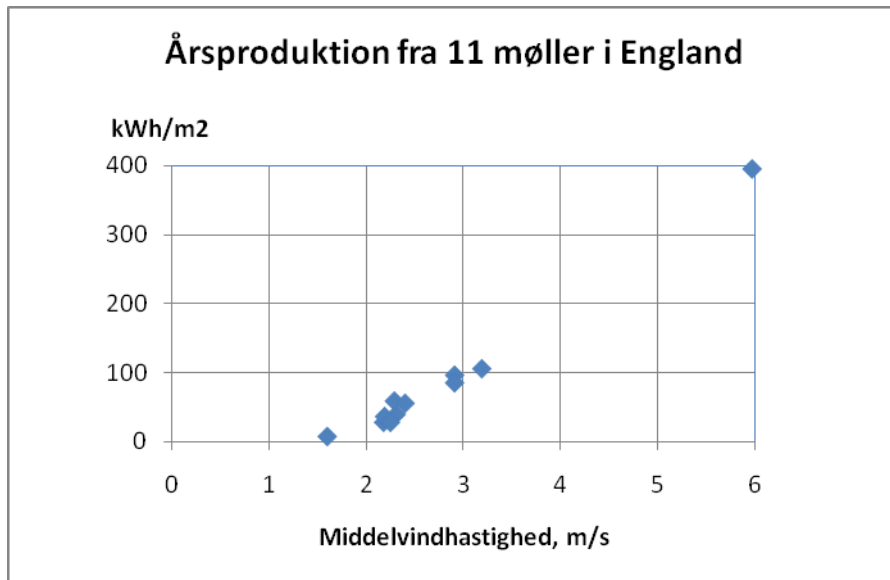
4 Elproduktion

For 11 møller, hvor der foreligger målinger gennem mere end et halvt år, typisk november 2007 til medio 2008, er den forventede årlige elproduktion beregnet ved at gange den målte gennemsnitlige daglige elproduktion med 365. Resultaterne er vist på figur 4 som funktion af den gennemsnitlige vindhastighed, idet produktionen er angivet på m² rotorareal.

Møllen med den højeste produktion er en referencemølle opstillet på en testplads. De øvrige 10 møller er alle opstillet i tilknytning til bygninger.

Med tilnærmelse er årsproduktionen 100 kWh/m² for hver m/s middelvindhastigheden overstiger 2 m/s. Til sammenligning kan anføres, at de eksisterende landmøller i Danmark i gennemsnit har en årsproduktion på ca. 800 kWh/m²

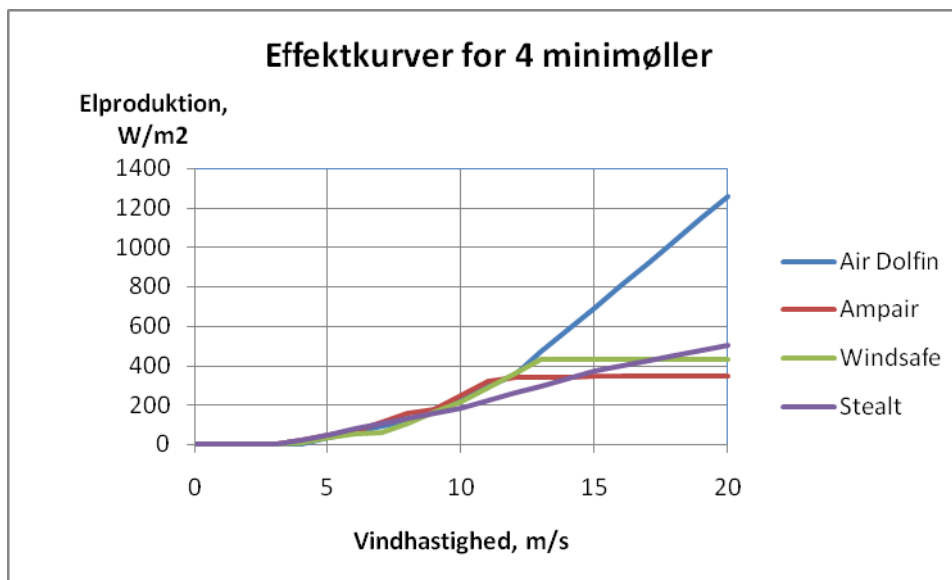
varierende fra ca. 600 kWh/m² for møller under 100 kW til ca. 1000 kWh/m² for møller på 1-2 MW.



Figur 4

5 Effektkurver

På baggrund af fabrikantoplysninger, /9/, er eleffekten pr. m² rotorareal for 4 udvalgte vindmøller optegnet i figur 5.

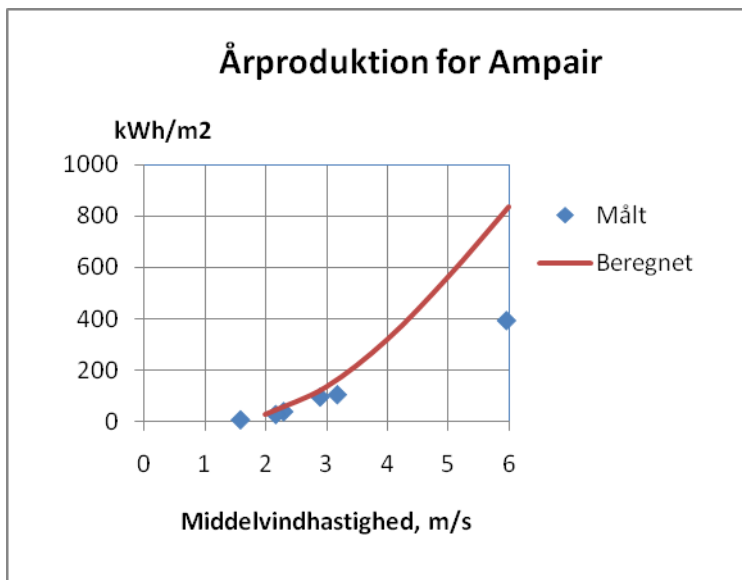


Figur 5

Da møllerne typisk først begynder at producere elektricitet ved vindhastigheder omkring 3 m/s, vil der ved lave middelhastigheder, jævnfør den i figur 1 viste forventede vindhastighedsfordeling, ikke være elproduktion i store dele af tiden.

6 Beregningseksempel

Hovedparten af de målte møller i England er af mærket Ampair. Med dennes effektkurve, figur 5, er den forventede årlige produktion i Danmark optegnet på figur 6 som funktion af middelvindhastigheden sammen med de målte værdier for samme mølle.



Figur 6

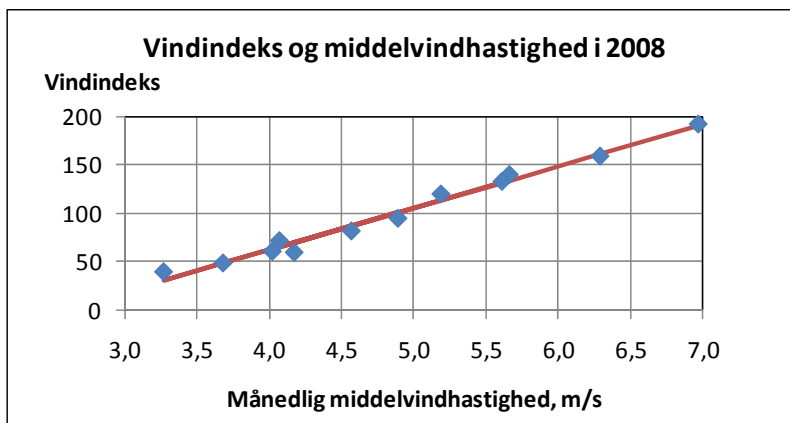
Det fremgår heraf, som tidligere anført, at den målte produktion er lavere end den beregnede for samme middelvindhastighed. Således er den kun ca. 50 % ved den højeste vindhastighed.

7 Vindens energiindhold

Vindens bevægelsesenergi, som pr. tidsenhed strømmer gennem en flade, er et godt mål for en vindmølles potentielle energiproduktion. Bl.a. på baggrund af elproduktionen fra eksisterende vindmøller offentliggøres hver måned et indeks for vindens energiindhold /10/. På figur 7 er dette månedsindeks for Danmark som helhed sammenholdt med månedens middelvindhastighed i 2008.

Det fremgår af figuren, at der i 2008, som samlet set er meget tæt på et vindmæssigt middellår, er en næsten entydig sammenhæng mellem middelvindhastigheden og vindmøllers potentielle produktion.

Ved sammenligning af figur 6 med beregnet vindmølleproduktion med figur 7, ses der at være en god overensstemmelse. Således viser begge figurerne ca. en tredobling af både produktion og indeks ved en middelvindhastighed på 5 m/s i forhold til 3,5 m/s. Dette svarer til, at en minimølles produktion kan forventes at være omkring 3 gange større i landområder med spredt bebyggelse end i tæt bymæssig bebyggelse.



Figur 7

8 Sammenfatning

Mini-vindmøllers årlige elproduktioner er meget afhængig af vindforholdene. Baseret på engelske målinger sammenholdt med vindforholdene i Danmark, kan det forventes, at en typisk mini-vindmøller opsat i tættere bebyggelse med en middelvindhastighed på 3-4 m/s vil have en årlig elproduktion på omkring 100-200 kWh pr. m² rotorareal. I det åbne land med meget gode vindforhold og en middelvindhastighed på omkring 6 m/s kan den årlige elproduktionen overslagsmæssigt forventes at være omkring 500 kWh per m² rotorareal.

Målingerne fra England viste, at fabrikanternes oplysninger om elproduktionen var vel optimistiske, idet de målte produktioner var lavere end forventet. Hertil kommer, at vindhastighederne på opstillingsstederne også var væsentligt lavere end forventet.

9 Referencer

- /1/ Guidelines for Design of Wind Turbines. DNV/Risø 2002
- /2/ <http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/borgervejr.htm>
- /3/ <http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/oversigter/maanedsbetretning.htm>
- /4/ <http://www.fredensborgvejr.dk/>
- /5/ <http://www.warwickwindtrials.org.uk/2.html>
- /6/ http://www.dmi.dk/dmi/saadan_blaeser_det_i_danmark
- /7/ BWEA Small Wind Systems UK Market Report 2008
(http://www.bwea.com/pdf/small/BWEA_SWS_UK_Market_Report_2008.pdf)
- /8/ <http://www.warwickwindtrials.org.uk/8.html>
- /9/ <http://www.bettergeneration.co.uk/reviews/wind-turbine-models.html>
- /10/ Månedsmagasinet Naturlig Energi. Medlemsblad for Danmarks Vindmølleforening (www.dkvind.dk)

Bilag 1

Gennemsnitlige vindhastigheder i 2008 /3/

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	År
Skagen	9,9	8,6	7,7	5,1	4,0	6,8	4,8	6,3	6,4	7,9	7,8	6,1	6,8
Hjørring	7,2	7,0	5,6	3,8	3,1	5,4	3,7	4,5	4,0	5,7	5,4	4,0	5,0
Ålborg	7,0	6,7	5,5	3,8	3,5	5,4	4,0	4,3	4,0	5,1	5,1	3,9	4,9
Thisted	8,0	7,9	6,2	4,2	3,9	5,9	4,2	4,8	4,5	6,2	6,1	4,9	5,6
Hobro	6,5	6,2	5,1	3,5	3,0	4,5	3,7	3,8	3,5	4,6	4,8	3,6	4,4
Viborg	6,1	5,8	4,8	3,3	3,0	4,3	3,6	3,5	3,1	4,2	4,5	3,4	4,1
Herning	5,9	5,6	4,8	3,4	3,0	4,4	3,6	3,6	3,2	4,0	4,4	3,4	4,1
Holstebro	7,3	7,0	5,7	3,9	3,5	4,9	4,0	4,2	3,8	5,0	5,4	4,0	4,9
Grindsted	5,8	5,3	4,7	3,2	2,9	4,3	3,6	3,5	3,0	3,7	4,4	3,3	4,0
Ringkøbing	8,7	7,4	7,3	5,3	4,7	6,6	5,7	6,0	5,5	6,9	7,0	5,4	6,4
Randers	6,7	6,4	5,3	3,5	3,0	4,5	3,8	4,0	3,7	5,0	5,0	3,8	4,6
Århus	6,6	5,7	5,0	3,3	2,8	4,3	3,8	3,9	3,7	4,6	5,0	3,8	4,4
Grenaa	8,6	7,7	6,7	4,1	3,8	6,2	4,8	6,0	5,3	7,4	7,3	5,3	6,1
Silkeborg	5,9	5,5	4,6	3,2	2,8	4,2	3,5	3,4	3,0	3,9	4,3	3,3	4,0
Horsens	6,0	5,3	4,5	2,8	2,5	4,0	3,4	3,4	2,8	3,8	4,1	3,1	3,8
Kolding	7,1	6,4	5,8	3,4	3,0	4,5	4,1	4,3	3,9	4,9	5,5	3,9	4,7
Tønder	5,8	4,8	4,6	3,2	2,5	3,4	3,2	3,2	2,7	3,4	4,1	3,1	3,7
Ribe	8,3	7,6	7,3	4,8	4,2	6,5	5,5	6,0	4,7	6,3	6,5	4,6	6,0
Esbjerg	7,4	7,1	6,8	4,1	3,6	5,3	4,5	4,9	3,9	5,2	6,2	4,5	5,3
Sønderborg	6,7	5,5	5,4	3,8	3,7	4,6	4,5	4,3	4,2	4,6	5,8	4,3	4,8
Åbenrå	6,6	5,6	5,3	3,6	3,1	4,4	4,2	4,1	3,5	4,4	5,1	3,8	4,5
Odense	6,6	6,0	5,5	2,8	2,7	4,5	4,1	4,3	3,6	4,6	5,3	3,6	4,5
Svendborg	5,9	5,5	5,3	3,4	3,2	4,9	4,5	4,4	3,7	4,7	5,5	3,8	4,6
Assens	8,1	7,1	7,0	4,1	3,6	6,0	5,7	6,2	5,2	7,2	7,0	5,0	6,0
Nakskov	7,8	6,7	6,4	4,0	3,9	5,5	5,4	5,6	5,0	6,2	6,7	4,7	5,7
Nykøbing F.	8,1	6,8	6,6	4,3	4,0	5,7	5,5	5,7	5,2	6,5	6,9	5,0	5,9
Næstved	6,4	5,6	5,2	3,6	3,2	4,6	4,4	4,6	3,8	4,7	5,3	3,8	4,6
Sorø	6,5	5,8	5,4	3,5	3,1	4,5	4,1	4,5	3,8	4,8	5,3	3,8	4,6
Kalundborg	7,3	6,3	5,9	3,5	3,2	5,6	4,4	5,1	4,2	5,0	5,8	3,4	5,0
Nykøbing Sj.	8,1	7,2	6,3	3,9	3,4	5,6	4,6	5,8	4,9	6,5	6,9	4,8	5,7
København	5,2	4,9	4,5	3,0	2,8	3,8	3,2	3,7	3,3	3,7	4,3	3,3	3,8
Hillerød	5,1	4,7	4,2	2,6	2,3	3,5	2,8	3,2	2,5	3,2	4,1	2,7	3,4
Helsingør	5,9	5,4	5,6	3,6	3,3	3,8	3,1	4,3	3,8	4,5	5,5	4,1	4,4
Roskilde	6,6	6,0	5,4	3,5	3,0	4,5	3,8	4,4	3,6	4,6	5,3	3,8	4,5
Køge	5,8	5,2	4,8	3,2	2,8	3,7	3,4	4,0	3,4	4,1	4,7	3,4	4,0
Rønne	8,2	7,2	6,4	4,0	3,5	5,3	4,7	5,7	5,3	7,6	7,7	5,1	5,9
Åkirkeby	8,1	7,2	6,3	4,0	3,5	5,1	4,6	5,6	5,2	7,3	7,5	4,9	5,8
Hele landet	7,0	6,3	5,7	3,7	3,3	4,9	4,2	4,6	4,0	5,2	5,6	4,1	4,9

